



УДК 621.396

## ГЕТЕРОГЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

**С.Н. МАЛИКОВ<sup>1</sup>****В.Л. САФОНОВ<sup>2</sup>****С.М. ЧУДИНОВ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ОАО «НИИ Супер ЭВМ»<sup>2</sup>ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева»,

г. Москва

e-mail: [myamlik@rambler.ru](mailto:myamlik@rambler.ru)e-mail: [safonovvl@yandex.ru](mailto:safonovvl@yandex.ru)e-mail: [chud35@yandex.ru](mailto:chud35@yandex.ru)

Краткое содержание: в материалах статьи излагаются научно-практические результаты по разработке и внедрению гетерогенных вычислительных систем цифровой обработки сигналов.

Ключевые слова: вычислительные системы и комплексы, четырехпроцессорный ВК «Эльбрус – 90 микро», программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), вычислительные комплексы обработки сигналов, гетерогенные вычислительные системы цифровой обработки сигналов.

Вычислительные системы и комплексы (ВК), применяемые в системах для обработки радиолокационной и гидроакустической информации в режиме реального времени, должны удовлетворять ряду требований, которые обусловлены особенностями использования ВК и обеспечиваются специальными техническими решениями с учетом специфики выполняемых задач и условий эксплуатации. Например, цифровой вычислительный комплекс (ЦВК) [1] на базе использования высокопроизводительных ЭВМ «Эльбрус-90 микро» в составе гидроакустического комплекса (ГАК) обеспечивает обработку гидроакустических сигналов. Гидроакустические системы предъявляют наибольшие требования к ЦВК, которые реализуют решения следующих задач: формирование пространственно-частотных спектров сигналов, адаптивная корреляционная обработка, пороговая и траекторная обработка, идентификация и классификация наблюдаемых объектов, гидроакустические расчеты, отображение и регистрация результатов обработки, управление подсистемами ГАК.

Основные требованиями к ЦВК: производительность (десятки и даже сотни млрд. операций в секунду), емкость памяти и пропускная способность каналов, необходимые для решения задач в реальном времени; высокая надежность (среднее время безотказной работы не менее 20 тыс. часов); ограничение энергопотребление; малый объем аппаратуры; бесшумность работы; устойчивость к механическим воздействиям; простота обслуживания и ремонта; обеспечение условий для разработки сложного функционального программного обеспечения (ФПО); структура и состав аппаратуры ЦВК, выполняемые задачи показано на рисунке 1.

Надежность ЦВК можно повысить путем автоматического переключения на резервное устройство при отказе рабочего устройства, а высокое быстродействие при ограниченном энергопотреблении – за счет применения в составе ЦВК специализированных вычислителей (СВ), имеющих существенно более высокий, чем у универсальных ЭВМ, показатель «производительность/энергопотребление». Бесшумность и устойчивость к механическим воздействиям достигается применением кондуктивно-жидкостного охлаждения аппаратуры, простота обслуживания и ремонта – комплексом программно-аппаратных средств определения места неисправности с точностью до модуля в составе запасного оборудования ГАК.

ЦВК проектируется из комплектующих изделий (КИ) отечественной разработки. Основным универсальным вычислительным средством ГАК был выбран четырехпроцессорный ВК «Эльбрус – 90 микро», а для реализации спецвычислителя на СБИС отечественной разработки использовались программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), как показано на рис. 1.

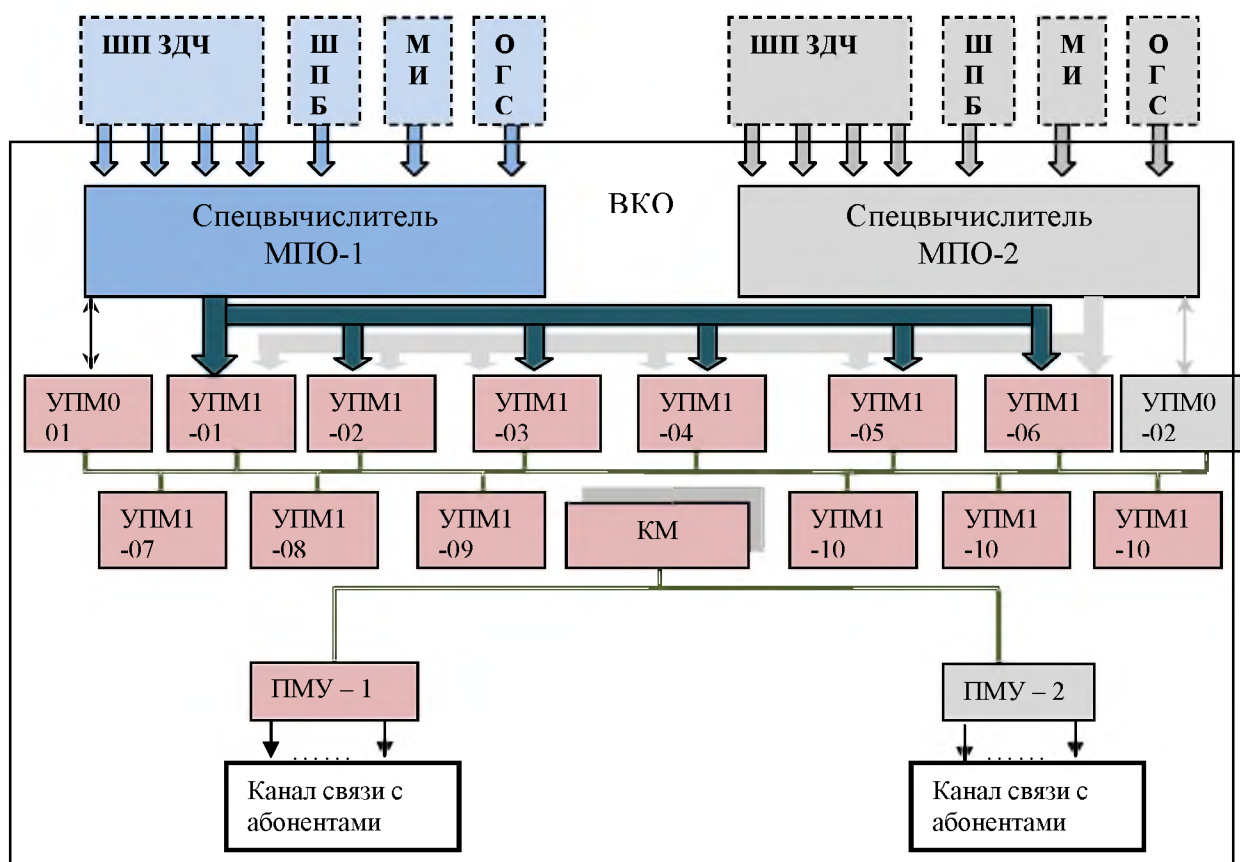


Рис. 1. Интегральные схемы

УПМ – универсальный процессорный модуль на основе ВК «Эльбрус – 90 микро»;  
 ПМУ – процессорный модуль управления;  
 КМ – коммутатор ЛВС;  
 ВКОС – вычислительный комплекс обработки сигналов;  
 МПО – модуль предварительной обработки (спецвычислитель)

**ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ЗАДАЧИ**

Этап обработки	Параметры ЦВК
Прием и накопление информации от систем Формирование пространственно-частотного спектра сигналов (ФПЧСС)	400 MB/s 30 GFLOPs
Адаптивная пространственно – частотно – временная обработка Первичная обработка (ПО) Вторичная обработка (ВО) Гидроакустические расчеты (ГАР)	200 SPECfp95
Отображение, регистрация данных и управление системой (СОРД)	25 SPECfp95

**АППАРАТУРА**

шкаф ВКОС-1	шкаф ВКОС-2
Блок электропитания и инженерного управления	Блок электропитания и инженерного управления
Специализированный вычислитель МПО	Специализированный вычислитель МПО
Многомашинный универсальный вычислительный комплекс	Многомашинный универсальный вычислительный комплекс
<b>Блоки пультowych приборов</b>	
Универсальный ВК	Универсальный ВК



*Рис. 2. Структура и состав аппаратуры ЦВК, выполняемые задачи*

ЦВК состоит из вычислительного комплекса обработки сигналов (ВКОС) и двух процессорных модулей управления (ПМУ), установленных в пульты ГЭК.

ВКОС содержит два одинаковых спецвычислителя (СВ) и универсальную процессорную часть (УПЧ), имеющую 14 универсальных процессорных модулей (УПМО-2 шт. и УПМ1-12 шт.) и два коммутатора (КМ) локальной вычислительной сети (ЛВС) с дублированными связями между КМ и устройствами УПМО, УПМ1, ПМУ. Полная рабочая конфигурация ЦВК имеет 11 устройств УПМ1 и по одному устройству УПМО, СВ, КМ, ПМУ. Остальные устройства (по одному УПМО, УПМ1, КМ, ПМУ) составляют «горячий» резерв для автоматической замены отказавшего устройства рабочей конфигурации ЦВК на резервное с последующим восстановлением полного состава резервных устройств путем их замены.

Спецвычислитель обеспечивает предварительную обработку – формирование пространственно-частотных спектров сигналов (ФПЧСС). СВ построен на принципах параллельной и конвейерной обработки информации информации с встроенной аппаратной реализацией алгоритмов.

Локальное управление модулем МПО-1 осуществляется ячейкой МЛУ, которая также обеспечивает обмен информацией между УМПО и ячейками модуля МПО-1.

При работе ЦВК производится непрерывный контроль исправности аппаратуры, а также автоматическая реконфигурация комплекса, при которой отказавший модуль в составе ЦВК заменяется на резервный переключением соответствующих каналов связей. Непрерывный контроль работоспособности с указанием места неисправности осуществляется следующим образом. На входе спецвычислителя информация от устройства сопряжения ГЭК дополняется контрольным сигналом-тестом, который обрабатывается СВ аналогично рабочим сигналам. На выходе каждой ячейки СВ вычисляется сигнатура результатов обработки сигнала теста и производится сравнение вычисленной сигнатуры с эталонным значением, которое хранится в данной ячейке. Если вычисленная сигнатура не совпадает с эталонной, то в ячейке МЛУ формируется код неисправности ячеек СВ, в котором номер разряда соответствует номеру ячейки СВ, где появился признак неисправности. Из МЛУ код неисправности СВ передается в устройство УПМО. Анализ кода в универсальной процессорной части ЦВК позволяет определить адрес неисправной ячейки СВ. При этом производится переключение каналов во ВКОС, в результате которого неисправный СВ заменяется резервным в рабочей конфигурации ЦВК и передается на ремонт.

В большинстве случаев ремонт СВ сводится к замене неисправной ячейки по адресу, определенному в результате анализа кода неисправности СВ, на ячейку из состава запасного оборудования ГЭК. В некоторых случаях оказывается необходимым провести дополнительный анализ с использованием специальных тестовых сигналов на входе СВ, которые обрабатываются аналогично рабочим сигналам.

ЦВК обладает комплексом программ технического обслуживания (КПТО), который обеспечивает более глубокий контроль аппаратуры ЦВК, чем это происходит в режиме непрерывного контроля одновременно с выполнением штатной обработки сигналов. КПТО имеет наглядное, удобное для операторов отображение результатов контроля на экранах пультовых приборов ГЭК. Программы КПТО применяются при ремонте, отдельные программы КПТО включаются в состав функционального программного обеспечения ГЭК для непрерывного контроля работоспособности ЦВК и ГЭК, универсальной процессорной части ЦВК, пультовых приборов.

ЦВК построен с учетом того, что за время его эксплуатации может потребоваться модернизация для улучшения тактико-технических показателей и эксплуатационных характеристик ГЭК.

Увеличение вычислительных ресурсов ЦВК (производительности, емкости памяти, пропускной способности каналов связи) достигается заменой примененных в ЦВК модификаций ЭВМ на новые, более совершенные модификации ЭВМ «Эльбрус-90 микро» (с сохранением функционального ПО). Модернизация спецвычислителя может происходить в нескольких направлениях: перевод СБИС на основе ПЛИС в заказные СБИС; замена устаревших ПЛИС на перспективные; построение СВ на основе СБИС широкого применения – сигнальные микропроцессоры (МП), универсальные МП (многоядерные и др.).



Разработка модернизированного СВ с использованием архива документации и образцов ячеек и логических СБИС на ПЛИС позволит существенно сократить затраты времени и средств по отношению к разработке нового СВ без прототипа. При этом можно создать систему автоматизированного перевода СБИС и ячеек существующего прототипа в заказные СБИС и микросхемы на новых типах ПЛИС.

В настоящее время указанный вычислительный комплекс проходит испытания. Ведутся работы по его совершенствованию, направленные на повышение надёжности, расширению функциональных возможностей, упрощение структуры связей, реализации адаптивного подхода к организации вычислительного процесса.

Дальнейшее развитие гетерогенных систем связано с преодолением противоречия между синхронным поступлением входных данных, синхронной многопоточной обработкой данных специализированными устройствами цифровой обработки сигналов на основе ПЛИС и СБИС и принципиально асинхронной обработкой данных вычислительными комплексами общего назначения. Очевидны разрешение данного противоречия на основе буферизации данных в синхронных устройствах, но возможности подобных подходов не безграничны. Работы по совершенствованию системы аппаратных прерываний остались в прошлом: разработка уникальных вычислительных систем для уникальных применений экономически не оправдано. Представляется, что уменьшение стоимости и повышение быстродействия асинхронных вычислительных устройств поможет найти комплексные подходы к решению указанной проблематики на основе распараллеливания приёма: создания динамического «горячего резерва» свободных устройств асинхронной обработки.

### Литература

1. Мухтарулин В.С., Нейман В.М., Новиков А.А., Новожилов В.А. Вычислительные комплексы обработки сигналов./Радиоэлектронная промышленность России-М.: ООО «ИД «Военный парад», 2010 стр.270-273
2. Галушкин А.И. Тенденции развития разработки отечественных суперкомпьютеров, 14-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение», DSPA'2012
3. Баранов Л.Д., Лапшин М.В., Маликов С.Н. Реализация цифровой обработки сигналов в медицине, Вопросы радиоэлектроники (ЭВТ), выпуск 2, 2012 стр.60-65

## HETEROGENEOUS COMPUTING SYSTEMS OF DIGITAL PROCESSING OF SIGNALS

**S.N. MALIKOV**  
**V.I. SAFONOV**  
**S.M. CHUDINOV**

*OAO «NI SUPER-EVM»  
OAO «NIIVK  
im. M.A. Kartzeva»,  
Moscow*

*e-mail: myamlik@rambler.ru  
safonovvl@yandex.ru  
chud35@yandex.ru*

Summary: in materials of article scientific and practical results on development and to introduction of heterogeneous computing systems of digital processing of signals are stated.

Key words: computing systems and complexes, cheterykhprotsesorny VK «Elbrus – 90 micro», programmed logic integrated schemes (COTTON VELVET), computer systems of processing of signals, heterogeneous computing systems of digital processing of signals.